Beiträge

zur Kenntnis der disruptiven Entladung.

Von

Dr. Willy Lietzau.

Beiträge

zur Kenntnis der disruptiven Entladung.

Inaugural-Dissertation

der

mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Universität Freiburg in der Schweiz

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

Willy Lietzau

aus Danzig.

Freiburg (Schweiz).

Buchdruckerei Gebrüder Fragnière.

1903.

Sonderabdruck

aus den Mitteilungen der naturforschenden Gesellschaft
in Freiburg (Schweiz). Mathematik und Physik.
Band I, Heft 1. 1903.

Beiträge

zur Kenntnis der disruptiven Entladung.

In Folge eigentümlichen Verhaltens von technischen Kondensatoren, welches von verschiedenen Beobachtern beschrieben worden ist, schien es mir von Interesse, die darauf bezüglichen Erscheinungen näher zu verfolgen.

Bei den im Gebrauche befindlichen Kondensatoren macht sich in besonders hohem Maße die Oberflächenentladung, d. h. die Entladung, welche an der Oberfläche der nicht leitenden Substanzen vor sich geht, fühlbar. Bei der stetig wachsenden Spannung machen sich naturgemäß auch die Oberflächenentladungen in erhöhtem Grade bemerkbar.

Die Tatsache dieser Erscheinung ist längst bekannt, wie das Phänomen der Lichtenberg'schen Figuren beweist.

Bei diesem Phänomen handelt es sich bekanntlich darum, die Elektrisierung eines Dielektrikums durch Auftragen eines neutralen, oder sind beide Elektrizitäten vertreten, auch eines elektrisierten Pulvers, deutlich zu machen.

Villarsy gab schon im Jahre 1778 als geeignetes Pulver für diesen Zweck eine Mischung von Mennige und Schwefel an. De Senarmont [1]) beobachtete die

[1]) Annales de Chimie et de Physique, 3e série, t. XXVIII, p. 257.

Verteilung der Elektrizität an der Oberfläche eines Dielektrikums, indem er diese mit einem Stanniolblatt belegte, in dessen Mitte ein Loch geschnitten war. Im Zentrum des letzteren befand sich eine Spitze als eine Elektrode, während die andere zur Erde abgeleitet war. Seine Versuche stellte er unter dem Rezipienten einer Luftpumpe an und untersuchte in der Hauptsache das Verhalten der Krystalle verschiedener Systeme.

In neuerer Zeit haben sich gleichfalls einige Forscher mit diesem Gegenstande befaßt, und zwar waren es J. C. Poggendorf [1]) und A. Righi [2]), die sich mit diesen Entladungen, welche sie Gleitfunken nannten, beschäftigten.

G. W. Pierce [3]) fand bei seinem Versuchen über die dielektrische Festigkeit von Paraffin, daß der Funken auf der Oberfläche des Paraffins leichter durchschlägt als in freier Luft.

Der Versuch wurde so angestellt, daß eine runde Platte des Dielektrikums z. B. Glas oder Paraffin zwischen zwei kleine Metallplättchen eingesetzt wurde. Die Metallplättchen waren mit den Polen einer Holtz'schen Influenzmaschine verbunden. War die Maschine im Gang gesetzt, so wurde die Potentialdifferenz festgestellt, welche notwendig war, um eine Entladung um den Rand des Dielektrikums herum hervorzubringen.

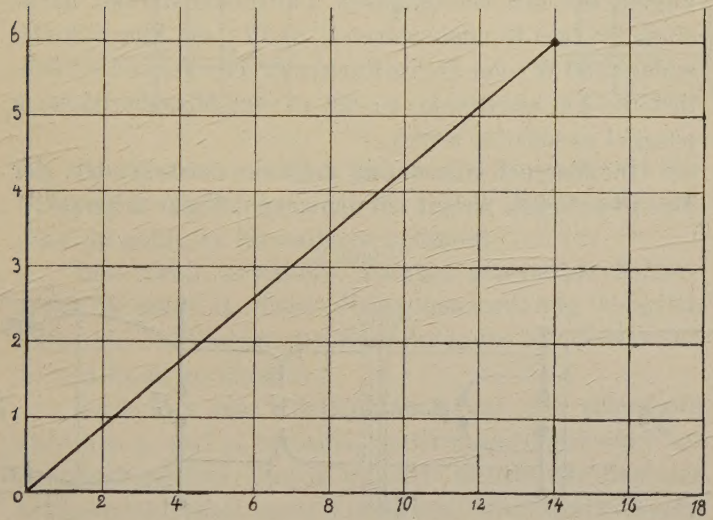
Der Verfasser findet, daß das Verhältnis der Funkenlänge in freier Luft zu derjenigen auf der Oberfläche nahezu konstant ist. Seine Curve war demnach eine gerade Linie und wird in nachstehender Figur 1 wiedergegeben. Wie aus letzterer gleichfalls hervorgeht, be-

---

[1]) Pog. Annalen 126, p. 63.
[2]) Rendic. della acc. di Lincei 1895, p. 193.
[3]) Phys. Review II, p. 99.

ziehen sich Pierce's Untersuchungen nur auf kurze Funkenstrecken von 6 resp. 14 mm. Länge.

Figur 1.



M. Toepler [1]) beschäftigt sich auch mit den Gleitfunken und unterscheidet je nach der Versuchsanordnung Gleitfunken erster und zweiter Art. Da für das Verständnis der hierzu beschreibenden Versuche Toepler's Vorstellungsart von Wichtigkeit ist, so sei es mir gestattet, auf diese Arbeit etwas näher einzugehen.

Gleitfunken erster Art nennt Toepler solche, welche durch einen einzigen Ladungsstoß hervorgerufen werden. Gleitfunken zweiter Art solche, welche einer oscillierenden Entladung ihre Entstehung verdanken.

Die Toepler'schen Versuche beziehen sich auf Gleitfunken, welche auf einer Glasoberfläche hervorge-

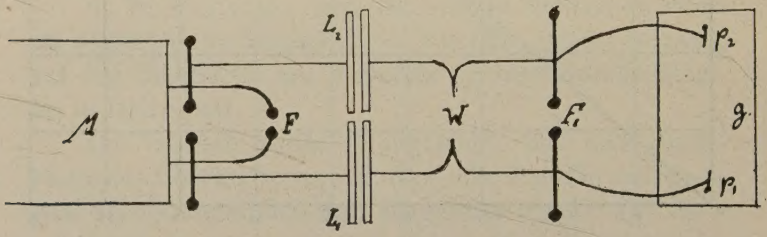
[1]) Wiedemann's Annalen 66 p. 1061.

rufen wurden, deren Rückseite mit einem Stanniolstreifen von 1 cm. Breite belegt war.

Er führte seine Versuche mit einer 60-plattigen Toepler'schen Influenzmaschine aus, zu deren Polkugeln mit der verstellbaren Luftfunkenstrecke nacheinander zwei Kondensatoren L_1 und L_2, ein Flüssigkeitswiderstand W, eine zweite Funkenstrecke F_1, und schließlich die Funkenstrecke p_1 bis p_2 der Glasoberfläche g parallel geschaltet waren.

Die Versuchsanordnung geht aus beistehender, der Toepler'schen Arbeit entnommenen, Figur 2 hervor.

Figur 2.

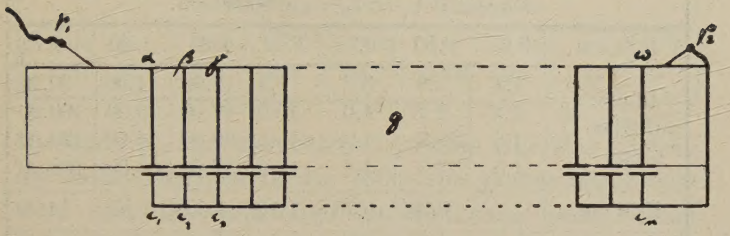


Das Zustandekommen der Gleitfunken erster Art erklärt Toepler nun mit Hilfe eines gedachten Experiments so, daß er sich die Glasplatte mit Stanniolbelegung durch eine Reihe kleiner Leydener Flaschen ersetzt denkt, deren Außenbelege untereinander und mit dem Pole p_2 verbunden seien.

Die Innenbelege endigen in Drähten, welche mit dem sie trennenden Isoliermaterial die Funkenbahn bilden.

Entsteht nun zwischen p_1 und p_2 eine Potentialdifferenz, so ladet sich, wie Toepler eingehend ausführt, c_1 durch Übergang eines Funkens von p_1. Ein weiterer Funke $\alpha\beta$ entsteht und ladet c_2 u. s. w., bis schließlich p_2 erreicht wird.

Figur 3.



Der Verfasser erklärt ebenso den Vorgang auf der Glasplatte, indem er auch hier eine Reihe eng aneinandergefügter Kapazitäten annimmt.

Der vorhin erwähnte, parallel geschaltete Widerstand W dient in dieser Versuchsanordnung lediglich dazu, eine oscillatorische Entladung der Kondensatoren L_1 und L_2 zu verhindern.

Geht nun eine Gleitenladung auf der Glasplatte zwischen p_1 und p_2 vor sich, so wird hierdurch ein Funkenkanal geöffnet, durch welchen alsbald der Rest der Influenzelektrizität unter Licht- und Schall-Entwicklung abfließt.

Wird p_1 weiter und weiter von p_2 entfernt, so tritt ein Augenblick ein, in welchem eine Entladung nicht mehr stattfindet, und Toepler bezeichnet diese größte Gleitfunkenlänge als die zu F zugehörige.

Bei weiterer Entfernung von p_1 tritt alsdann auf der Glasplatte eine in der Richtung des Stanniolstreifens verzerrte elektrische Rose auf.

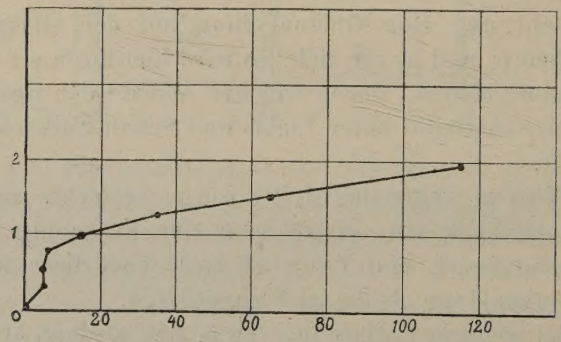
Toepler giebt in seiner hier wiedergegebenen Tabelle 1 einige Resultate über Gleitfunkenlängen, welche zu verschiedenen Primärfunken F gehören.

Versuchsanordnung der Fig. 2 W = 5 Millionen Ohm.
Kapazität $L_1 = L_2$ = je 80000 cm.

F in cm		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75
f in cm. auf Glasplatte	1.	1.4	2.5	3.8	7.5	18.00	44.00	90.00
	2.	1.2	2.2	4.0	15.0	27.00	53.00	100.00
	3.	1.5	2.5	4.0	15.0	39.00	76.00	122.00
	4.	1.5	2.5	4.2	12.0	32.00	66.00	108.00
F in cm.			0.54	0.75	1.10	1.35	1.57	1.79
f in cm.		1.0	2.0	10.0	31.00	65.00	112.00	
auf Glasrohr		1.0	2.5	9.0	28.00	60.00	102.00	> 152.00

In Figur 4. giebt Toepler eine Kurve aus den Resultaten vorstehender Tabelle.

Figur 4.



Zur Erreichung der Gleitfunken zweiter Art wurde der Flüssigkeitswiderstand bei W durch eine Drahtspirale von großer Selbstinduktion und geringem Widerstand ersetzt. Toepler erhält dann die in nachstehender Tabelle wiedergegebenen Werte.

Die Gleitfunkenentladung denkt sich Toepler nun so, daß beim ersten Anwachsen der Potentialdifferenz

Versuchsanordnung der Fig. 2. Glasplatte 1. W = Drahtrolle Kapazität $L_1 = L_2$ = je 80000 cm.

F in cm.	0.25	0.50	0.75	1.0	1.25	1.50	1.75
f. in cm.	1	4.5	10.5	25.00	43	60	80

zwischen p_1 und dem Stanniolstreifen nur eine Ladung der Glasoberfläche in der Nähe von p_1 hervorgebracht wird und die verästelten Ladefünkchen heiße, daher leitende Funkenkanälchen hinterlassen. Durch letztere wird bei Potentialumkehr ein weiteres, größeres Stück der Oberfläche um p_1 geladen, bis schließlich p_2 erreicht wird. Es bildet sich hierdurch auf der Oberfläche unter Bevorzugung der Richtung des Stanniolstreifens ein Funkenkanal p_1 nach p_2, durch welchen vermöge seiner geringen Selbstinduktion im Verhältnis zur parallel geschalteten Drahtrolle der Ausgleich der Elektrizitäten unter Licht- und Schall-Entwicklung stattfinden wird.

Nach den bisherigen Resultaten schien es mir interessant, diese Versuche fortzusetzen, und zwar unter möglichster Berücksichtigung derjenigen Bedingungen, welche die Praxis fordert, und dies hauptsächlich beim Gebrauch von Kondensatoren in der Wechselstromtechnik. Die Versuche wurden daher angestellt mit einem Ruhmkorf'schen Induktorium der Firma Max Kohl in Chemnitz.

Der Apparat besaß einen Motorunterbrecher und gab Funken von 40 cm. Luftstrecke. Die Versuchsanordnung war folgende: Von dem Polwender des Apparates führten die Pole der Sekundärspule direkt zu zwei, nach jeder Richtung hin leicht verstellbaren, starken Messingstäben, von denen der eine an seinem Ende eine Platinspitze, der andere eine Kugel trug. Die Kugel konnte leicht ausgewechselt werden, und wurden im Laufe der Versuche Stahlkugeln von 9,2 mm. und 14,2

mm., sowie Messingkugeln von 20 und 21 mm. verwendet. Die Platinspitze hatte eine Höhe von 16,5 mm. bei einem Durchmesser der Basis von 4,8 mm. Die Belegung war während dieser Versuche zur Erde abgeleitet.

Die Anordnung des Dielektrikums war so getroffen, daß die Platten sowohl wagrecht, als auch senkrecht aufgestellt werden konnten.

Parallel zu dieser Gleitfunkenstrecke war eine Luftfunkenstrecke geschaltet, welche bei allen Versuchen stets dieselben Polstücke trug wie die jeweilige Gleitfunkenstrecke. Mittels einer grobgängigen Schraube war es möglich, die Pole der Luftfunkenstrecke in genügend kurzer Zeit weit genug von einander zu entfernen, während ein Maßstab nebst Index gestattete, die Entfernung der Pole direkt abzulesen.

Das Verhältnis zwischen der Luft- und der Gleitfunkenstrecke wurde so festgestellt, daß die letztere auf eine bestimmte Polentfernung eingestellt wurde und dann die Pole der Luftfunkenstrecke so weit von einander entfernt wurden, bis an dieser der erste Funken überging. Bei allen Versuchen wurde eine Unterbrechungszahl von 1600 p. Min. eingehalten und mit einer Primärstromstärke von $2^1/_2$ Amp. bei 60 Volt Spannung operiert. Nach Oberbeck [1]) erhält man in diesem Falle eine stets gleiche sekundäre Maximalspannung, welche auch bei dem für diese Untersuchungen verwendeten Induktorium aus dem nach Oberbeck's Methode ermittelten Transformations-Verhältnis berechnet wurde.

Bei dieser experimentellen Ermittlung des Transformationsverhältnisses nahm ich die von Oberbeck auf Seite 113 Absatz 3 und 4 gemachte Voraussetzung

[1]) Wiedemann's Annalen 62, p. 109.

über statische und schnell veränderliche Potentiale als zu Recht bestehend an.

Zur Verwendung gelangten als Dielektrikum verschiedene Materialien; und zwar wurden dieselben zunächst ohne Hinterlegung eines Stanniolblattes geprüft.

Es wurden untersucht: paraffiniertes Papier (Gelbbank, dessen Qualität und Art aus einem späteren Teile der Arbeit hervorgeht), reines Paraffin, Hartgummi, Vulkanfiber, Glas und Glimmer.

In Nachstehendem werde ich einzelne vollständige Tabellen, welche die Resultate von je 10 Untersuchungen enthalten, angeben, um auch die in den einzelnen Untersuchungen auftretenden Unregelmäßigkeiten, aus denen die Mittel genommen wurden, hervortreten zu lassen.

Die erste Unterzuchung bezog sich auf paraffiniertes Gelbbank, und es wurden, da hier genügend Material zur

Tabelle 1.

Paraffinirtes Papier. (Gelbbank.)						
120	100	80	60	50	40	30
113	90	57	36	32	26	22
110	86	56	37	29	24	21
113	92	50	36	31	27	21
112	90	65	35	32	24	20
115	85	65	37	30	23	20
113	86	56	34	28	20	20
114	77	61	33	28	25	20
113	80	70	34	31	22	19
114	90	58	34	28	24	20
115	85	65	34	30	24	22
113.2	86.1	60.3	35.0	29.9	23.9	21.5

Verfügung stand, für die einzelnen Messungen häufig neue, frisch bereitete Blätter verwendet, was in dieser, wie in allen späteren Tabellen, dadurch zum Ausdruck gebracht wird, daß die betreffende Zahl unterstrichen wurde.

Die oberste Reihe giebt die bei allen Versuchen gleiche Länge der Gleitfunkenstrecke an, die unterste Reihe das Mittel aus den dazwischen liegenden Ablesungen an der Luftfunkenstrecke.

Folgende Tabelle 2. beschäftigt sich mit den Untersuchungen auf reinem Paraffin. Da es mir nicht gelang, eine absolut gleichmäßige Paraffin-Oberfläche von ausreichender Größe herzustellen und genügende Sauberkeit auf derselben dauernd zu erhalten, so fertigte ich mir zur Wiederholung der Versuche kleinere Paraffinschichten dadurch an, daß ich dieses auf Glas-

Tabelle 2.

Reines Paraffin.						
120	100	80	60	50	40	30
113	86	62	43	33	33	22
113	88	57	40	36	32	26
112	90	59	40	33	32	22
112	87	59	43	33	29	21
115	82	65	37	32	31	20
114	86	62	37	34	30	24
113	82	61	37	33	32	20
111	75	64	41	35	30	25
115	85	63	40	37	29	21
115	92	60	40	34	30	24
113.3	86.3	61.2	39.8	34.0	32.8	22.5

platten ausgoß und in einem staubfreien Schranke vor jeweiligem Gebrauche erstarren ließ.

Tabelle 3. giebt die mit diesen Platten erhaltenen Resultate.

Wie aus denselben hervorgeht, tritt ein erkennbarer Unterschied in den Resultaten nicht hervor; eine Erfahrung, welche ich vorher bereits bei dem Gelbbank und nachher bei Glas ebenfalls machte.

Tabelle 3.

Reines Paraffin auf Glasplatten.						
120	100	80	60	50	40	30
112	91	62	40	34	28	23
114	92	59	39	36	29	21
116	80	70	38	35	29	23
117	94	66	37	36	27	22
113	93	65	39	34	27	21
114	84	65	38	36	27	22
114	87	66	38	34	23	21
115	90	64	37	35	24	23
113	80	64	40	32	28	22
114	92	65	40	35	27	22
114.2	88.3	64.6	38.6	34.7	26.9	22.0

Für Hartgummi, Vulkanfiber und Glimmer stand nicht genügend Material zur Verfügung, um häufig neue ungebrauchte Platten anwenden zu können, und die Messungen erfolgten so, daß nach intensivem Reinigen der Platten verschiedene Stellen derselben für je einen Versuch gebraucht wurden; doch ist auch hier ein Unterschied nicht zu erkennen.

Für Vulkanfiber wurden die Untersuchungen auch mit einer Polkugel von 9,2 mm. ausgeführt und, trat auch hierbei ein Unterschied von den Untersuchungen mit großer Kugel nicht zu Tage.

Für die Untersuchungen auf Glas gebe ich in Folgendem die Tabellen der erhaltenen Resultate sowohl für eine Polkugel von 9,2 mm. Stahl, als auch 21 mm. Messing.

Tabelle 4.

Hartgummi.						
120	100	80	60	50	40	30
112	83	46	35	31	27	24
105	76	58	37	30	25	20
102	73	54	32	32	24	23
103	86	53	35	36	24	24
112	79	42	36	30	27	22
114	78	47	34	32	25	22
108	80	54	38	29	27	20
114	82	50	35	28	29	23
113	76	47	39	28	25	22
113	74	47	35	30	24	22
106	79.7	49.8	35.6	30.6	25.7	22.2

Auch bei diesen unter sonst gleichen Verhältnissen angestellten Versuchen ist ein Unterschied nicht erkennbar, wie ich auch ermittelte, indem ich als Polkugel die mir zur Verfügung stehenden extremen Größen verwendete.

Alle Versuche wurden so angestellt, daß die Platinspitze den positiven Pol der Sekundärspule, die Kugel den negativen bildete.

Tabelle 5.

Vulkanfiber. Kugel 9,2 mm. Durchmesser.						
120	100	80	60	50	40	30
118	84	63	35	32	25	23
114	91	65	43	33	27	20
106	92	62	38	36	23	21
109	86	66	36	30	28	24
117	84	59	34	31	30	20
106	92	70	36	33	28	20
107	80	62	36	30	22	25
116	93	64	32	31	24	21
109	91	66	37	32	22	22
116	90	65	37	31	26	21
108.7	88.3	64.2	36.4	31.9	25.5	21.6

Tabelle 6.

Glas m. Kugel 21 mm. Durchmesser.						
120	100	80	60	50	40	30
90	65	44	32	24	26	20
91	71	47	30	25	23	24
89	71	48	29	27	24	23
98	70	46	30	28	20	27
100	87	47	31	27	22	23
88	74	44	35	26	23	21
87	75	43	34	27	28	25
88	68	42	29	26	23	24
88	75	49	33	27	23	25
102	67	44	34	25	24	24
92.1	72.3	45.4	31.7	25.9	23.6	23.6

Tabelle 7.

Glas mit Kugel 9,2 mm. Durchmesser.						
120	100	80	60	50	40	30
100	68	45	32	28	25	21
100	73	46	30	24	24	23
88	69	49	29	25	27	22
93	70	47	30	25	25	20
99	76	44	30	25	23	24
110	73	46	31	27	23	22
91	70	52	31	25	24	21
110	74	45	32	27	26	24
90	75	45	30	27	25	23
109	67	40	30	29	21	18
99.0	70.9	45.9	30.5	26.2	24.3	21.7

Tabelle 8.

Glimmer.						
120	100	80	60	50	40	30
101	82	50	33	23	23	24
101	75	49	34	24	26	20
106	80	49	33	25	20	22
105	77	60	35	30	24	20
92	76	45	37	26	20	23
107	78	47	36	23	26	21
100	78	43	40	24	26	21
103	81	44	34	26	27	20
98	81	46	32	25	26	22
105	78	42	35	22	28	20
101.8	78.6	47.5	34.9	26,0	24,6	21.3

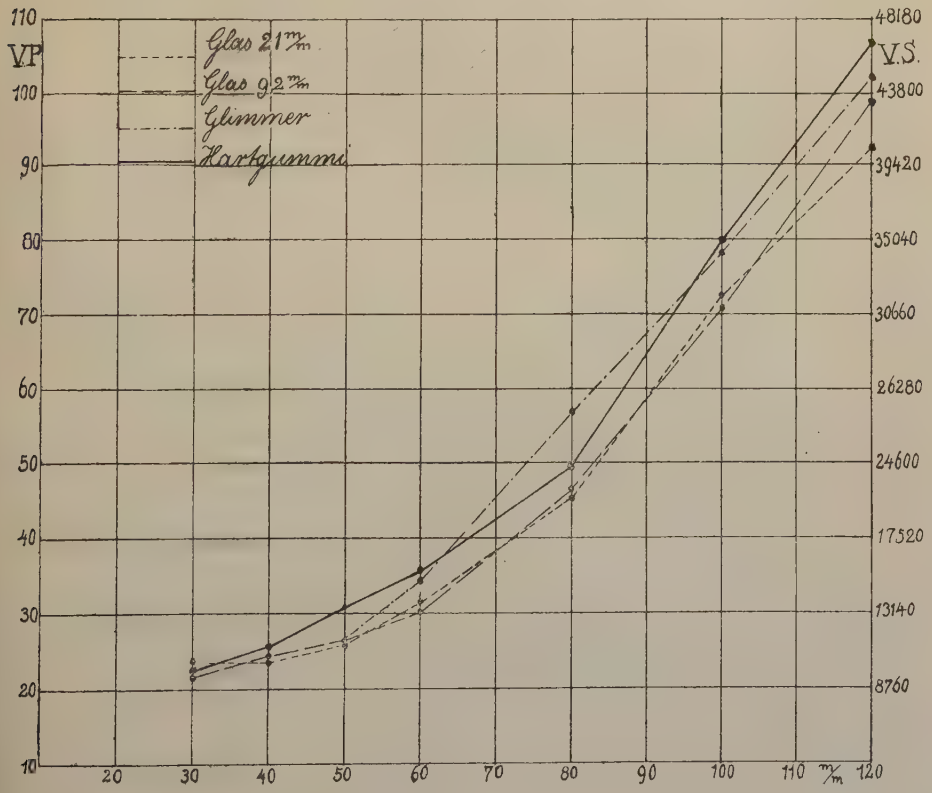
Kontrollversuche, in häufiger Abwechslung mit vorstehenden Versuchen ausgeführt, zeigten jedoch stets, daß die Richtung der Elektrizität auf das Resultat nicht von Einfluß, wenigstens nicht erkennbar war.

Dieselbe Erscheinung hat auch Toepler in seiner weiter oben zitierten Arbeit gemacht.

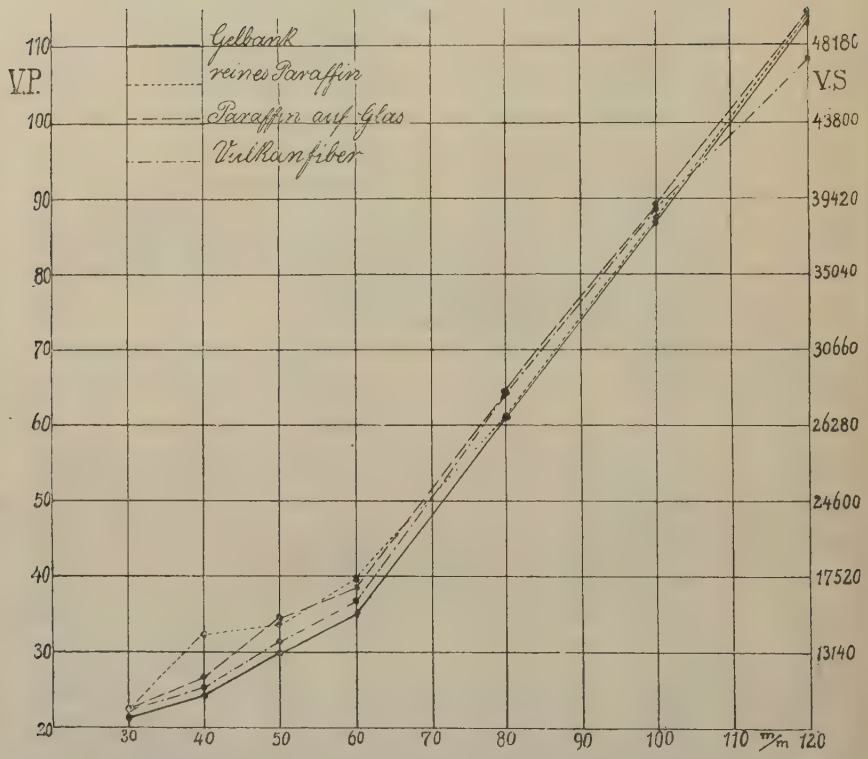
In Nachstehendem gebe ich die aus den Mittelwerten der Tabellen resultierenden Kurven, aus welchen zunächst hervorgeht, daß das Verhältnis der Gleit- zur Luftfunkenstrecke, wenigstens in den Grenzen von 60—120 mm., in der Luft konstant ist.

Figur 5. giebt die Kurven für die Materialien mit polierter oder naturglatter Oberfläche wie Glas, Hart-

Figur 5.



Figur 6.



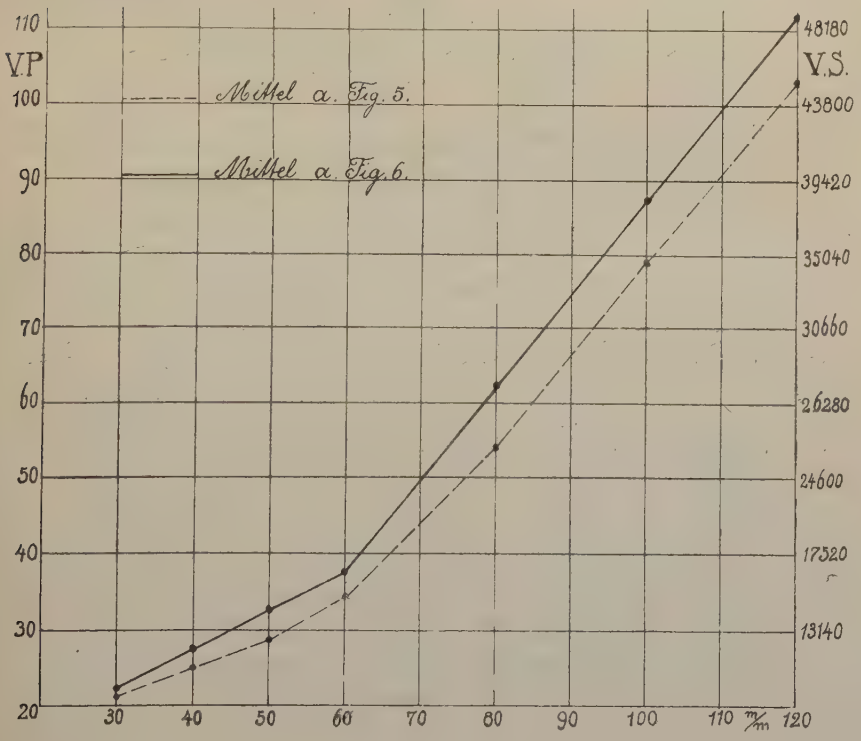
gummi und Glimmer; Figur 6. die Kurven für die Materialien mit matter oder rauher Oberfläche, wie Paraffin, paraffiniertes Gelbbank und Vulkanfiber. In Figur 7. sind die Kurven der Mittelwerte der vorstehenden Figuren 5. und 6. eingezeichnet.

Man sieht hieraus, daß das Material und die Beschaffenheit der Oberfläche desselben kaum einen Einfluß ausübt und das Verhältnis zwischen Gleit- und Luftfunken ein wesentlich kleineres ist als dasjenige, welches Toepler für Glas mit Stanniolhinterlegung und bei seiner speziellen Versuchsanordnung erhielt.

Leider gelang es mir nicht, die Unregelmässigkeiten der einzelnen Kurven zwischen 30 und 60 mm. Gleitfunkenlänge zu beseitigen, und dieselben sind wohl zum Teil der Versuchsanordnung, da bei kleinen Funkenlängen in Anbetracht des Durchmessers der Polkugel die Entfernung der Pole voneinander nicht streng definiert ist, zum Teil der sich in gleichem Falle stärker fühlbar machenden Entladungsverzögerung zu zuschreiben.

In dem in Figur 7. gezeichneten Mittel der Kurven der Figuren 5. und 6. sind auch diese kleinen Unregelmässigkeiten fast ganz ausgeglichen.

Figur 7.



Bei allen Versuchen wurde die Lage des Dielektrikums bald horizontal, bald vertikal gewählt, um eine etwa sich hierbei zeigende Differenz festzustellen und zu eliminieren, doch erhielt ich in beiden Fällen stets gleiche Werte.

Toepler's in Figur 4. wiedergegebene Kurve zeigt ebenfalls bei kleineren Entladungsstrecken auch einen nicht ganz regelmäßigen Verlauf.

Aus dem Vergleiche der hier mitgeteilten Versuchsresultate mit denjenigen Toepler's geht zunächst hervor, daß die Ausbildung des Gleitfunkens und sein Verhältnis zur Luftfunkenstrecke in hohem Maße abhängig ist von einer metallischen Belegung der Rückseite des Dielektrikums.

Es war somit von Wichtigkeit, durch eine Reihe von Versuchen festzustellen, welche Bedeutung dieser Hinterlegung in quantitativer und qualitativer Hinsicht zukommt.

Die Versuche nähern sich im Großen und Ganzen denjenigen, welche Toepler im zweiten Teile seiner Arbeit ausführt, unterscheiden sich aber wesentlich dadurch, daß bei ihm die Anzahl der Oscillationen eine vielmal größere ist, als in den von mir gewählten Anordnungen, welche sich mehr den in der Technik üblichen Verhältnissen, 1600 pr. Minute, näherten.

Ferner konnte ich, wie schon gesagt, bei meiner Versuchsanordnung die auftretenden sekundären Maximalspannungen mit genügender Genauigkeit nach der Methode von Oberbeck ermitteln, und es wurde der Einfluß derselben auf die Gleitfunkenbildung durch Photographieren des Phänomens festgestellt.

Die Versuchsanordnung war folgende: Das Dielektrikum, in diesem Falle Glas, war senkrecht isoliert aufgestellt, und vor dasselbe die Elektroden gebracht, welche

bei diesen Versuchen beide Platinspitzen von den vorher angegebenen Dimensionen trugen.

Vor dieser Anordnung war ein photographischer Apparat 13×18 fest aufgestellt.

In den sekundären Stromkreis war an geeigneter Stelle ein Kontaktpendel eingeschaltet, welches durch eine Quecksilberrinne schlug, um für alle Fälle, in denen es mir wünschenswert erschien, eine stets genau gleiche Versuchsdauer einhalten zu können.

Die Primärspannung wurde mittels eines Hitzdraht-Voltmeters der Firma Hartmann und Braun gemessen.

Für die Ausführung der einzelnen Versuchsarten wurde diese Anordnung nur unwesentlich dem bestimmten Zwecke entsprechend abgeändert.

1. Versuche über die Ausbildung der elektrischen Rose in Abhängigkeit von der sekundären Maximalspannung.

Der eine Pol wurde mit der Platinspitze senkrecht auf die Mitte der 300×400 mm großen, 2,5 mm. dicken Glasplatte gesetzt, welche vollständig auf der Rückseite mit Stanniol belegt war.

Der zweite Pol und die Hinterlegung wurden zur Erde abgeleitet.

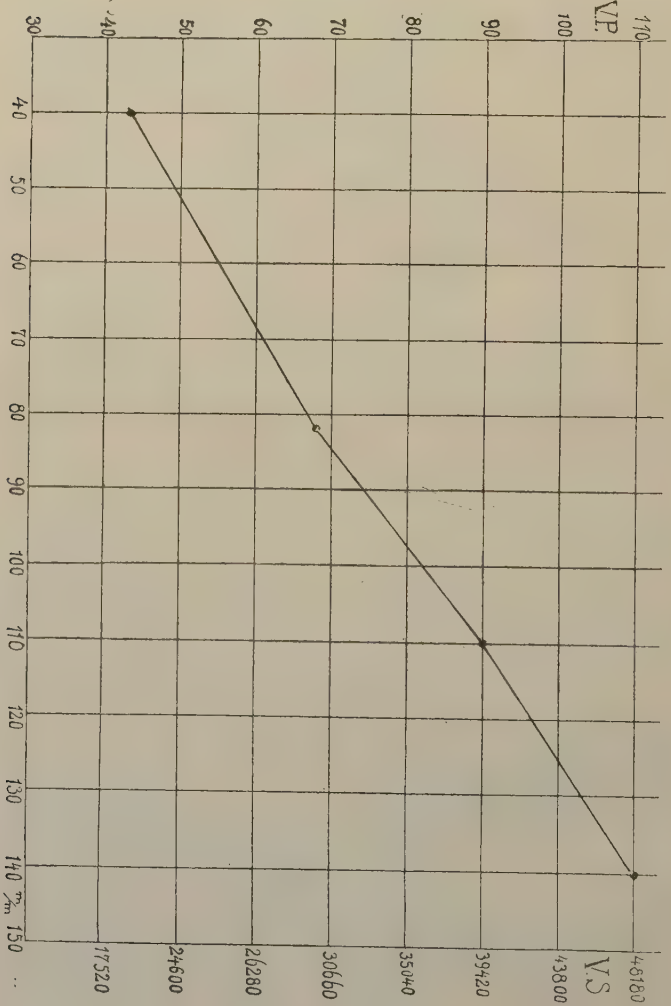
Ich erhielt dann für die verschiedenen Spannungen folgende Ausbildungen der Rose und bezeichne fort an mit P. die Primärspannung, mit S. die berechnete maximale Sekundärspannung, mit r. den Ausbreitungsradius der Lichtfigur und mit l. späterhin die Entfernung der beiden Pole voneinander. (Siehe Fig. 8, 9, 10, 11, Taf. I, II).

Die sich aus diesen Resultaten ergebenden Kurven zeichne ich in nachstehender Figur 12.

Auch diese Kurve nähert sich stark einer Geraden und man kann ihre Unregelmäßigkeit wohl ohne Irr-

thum auf einen Meßfehler bezüglich des Durchmessers der Rose zurückführen, da dieser nicht scharf begrenzt ist.

Figur 12.



Der Ausbreitungsradius wurde gemessen, indem die Rückseite der Glasplatte vor der Belegung mit Stanniol mittels schwarzer Tusche in konzentrische Kreise geteilt wurde, in deren Centrum später auf der Vorderseite die Polspitze gestellt wurde.

Eingehende Kontrollversuche ergaben, daß eine Beeinflußung in der Ausbreitung der Figur durch die Beschreibung der Glasplatte mit Kreisen nicht stattfand.

Eigenthümlich sind die in den Abbildungen deutlich hervortretenden Entladungen, welche mehr oder weniger parallel verlaufen und die radialen Entladungen schneiden.

Töepler erwähnt in seiner Arbeit, eine in der « Isis » erschienene Untersuchung über die elektrische Rose, doch es war mir leider nicht möglich, diese Abhandlungen zu erhalten, weshalb ich hier nur darauf hinweise.

2. Versuche, welche in gewisser Hinsicht Ähnlichkeit haben mit den Erscheinungen, welche K. Antolik [1]) gelegentlich seiner Untersuchungen über Lichtenberg'sche Figuren fand, und welche unter denselben Verhältnissen angestellt wurden wie die vorhergehenden, doch wurde hier der zweite Pol gleichfalls auf die Glasoberfläche gestellt, und seine Verbindung mit der Erde gelöst. Ferner war die Anordnung so getroffen, daß die Platinspitzen nicht senkrecht, sondern in einem Winkel von 45° gegen die Glasoberfläche geneigt standen.

Hierdurch ist die, auch in den Figuren erkennbare, Erscheinung eines zweiten, hinter dem eigentlichen Centrum liegenden, Strahlungscentrums erklärt. Be-

[1]) Wiedemann's Ann. 15.

merkenswert ist hier, Figur 13., Tafel II, der deutlich hervortretende Unterschied in den Entladungen am positiven und negativen Pol. Häufige Kontrollversuche bestätigten stets diese Erscheinung.

Bei Erhöhung der Spannung auf 90 Volt erhielt ich dann die Funkenentladungen der Figur 14., Tafel III, an welchen Bemerkenswertes nicht zu erwähnen ist.

Die Entladungen der Figur 15., Tafel III, erhielt ich, als ich die eine Elektrode zum Rande der Glasplatte und die zweite in die Mitte derselben brachte, während die Stanniolbelegung zur Erde abgeleitet war.

Man sieht in dieser Figur die prachtvolle Ausbildung der Glimmentladung in Rosenform und die Darüberlagerung der später erfolgenden Funkenentladung zum Rande der Glasplatte.

3. Diese Versuchsreihe wurde angestellt, um den Einfluß der Breite der rückseitigen Belegung festzustellen, und sie zeigt deutlich, Figur 16. bis 19., Taf. IV, daß die Gleitentladungen nicht nur den metallisch belegten Weg bevorzugen, sondern ausschließlich benutzen, mit, wie ich später zeigen werde, einziger Ausnahme nicht gerader Funkenstrecken.

4. Es wurden, um die Beeinflußung der Funkenbahn durch die Hinterlegung noch krasser hervortreten zu lassen, die Glasplatten mit Stanniolstreifen verschiedenster Form belegt, und hierbei zeigte sich dann, daß die Stanniolbahn wohl der Entladung den Weg in hervorragendem Maße vorschrieb, jedoch nicht mehr ausschließlich benutzt wurde, und die Entladungen mitunter den kürzesten Weg vorzogen oder doch die Ecken der Belegungen abschnitten.

Figur 20., Tafel V, zeigt die Entladung auf einer Zickzacklinie.

Die belegten Seiten der Dreiecke waren 65 mm., die offene 90 mm. lang.

In Figur 21., Tafel V, waren zwei Stanniolstreifen von je 160 mm. Länge rechtwinklig aneinander gelegt und die Polspitzen 110 mm. vom Scheitel des rechten Winckels ab auf die Streifen gesetzt, sodaß diese 50 mm. lang über die Polspitzen hinausragten. In der Figur sieht man deutlich die auch in dieser Richtung erfolgten Glimmentladungen.

In Figur 22., Tafel VI, hatte das Rechteck 75 resp. 150 mm. Seitenlänge, während hier, wie auch in den Versuchen der Figuren 18. und 19., Tafel IV, die Breite der Stanniolstreifen 2,5 mm. betrug.

5. Zum Schlusse dieser Versuche wurde noch eine Umkehrung derart unternommen, daß nicht eine Funkenbahn durch Hinterlegung eines Stanniolstreifens vorgeschrieben wurde, sondern, daß in die volle Belegung der Glasplatte ein Loch, in diesem Falle ein Rechteck von 90 resp. 140 mm. Seitenlange geschnitten wurde.

Es zeigte sich auch bei dieser Versuchsanordnung, daß die Entladung den metallisch hinterlegten Weg dem geraden vorzog, wenn auch nicht in so erheblichen Maße wie bisher.

Figur 23., Tafel VI, stellt die Erscheinung dar, wie sie sich bei Anwendung des Kontaktpendels ergab, Figur 24., Tafel VII, zeigt das Phänomen während einer längeren Versuchsdauer.

Auffällig ist, daß in ersteren Falle der Umweg auf der Stanniolbelegung zur Geltung kommt, im zweiten Falle jedoch nicht mehr erkennbar ist, welcher Weg der bevorzugte war. Es scheint hier fast der direkte gewesen zu sein, doch findet diese Thatsache ihre einfache Erklärung dadurch, daß die durch wenige Durchschlagungen einmal geöffnete Funkenbahn den weiteren Entladungen in Folge der hiermit erzeugten besseren Leitungsfähigkeit nur geringeren Widerstand entgegensetzte.

6. Eine Modifikation der Versuche 3 und 4 wurde noch in sofern vorgenommen, als ich die mit einem geraden oder geknickten Stanniolstreifen belegte Rückseite der Glasplatte mit Paraffin begoß. Es gelang mir in diesem Falle nicht mehr, eine erhebliche Gleitentladung zu erzielen, sondern die Glasplatte wurde schon bei geringen sekundären Maximalspannungen durchgeschlagen und zwar an beiden Polen.

Dieses Durchschlagen erfolgte stets am Rande des Stanniolstreifens da, wo derselbe mit dem Paraffin zusammentraf. Es mag diese Erscheinung darauf beruhen, daß durch den schroffen Übergang von einer gut leitenden Belegung zu einem fast absoluten Dielektrikum ein allmähliges Ausbreiten und Auslaufen der Gleitentladungen verhindert wird, während die bisher den Stanniolstreifen umgebende Luft in Folge ihres Feuchtigkeitsgehaltes immerhin noch eine gewisse Leitungsfähigkeit besaß und einen allmähligen Übergang vom Stanniol zum Glas bildete, gewissermaßen eine Spitzenwirkung entwickelte.

7. Eine andere Modifikation war die, daß ich die Rückseite der Platte mit einem Stanniolblatte vollständig belegte und dieses mit dem einen Pole leitend verband, während ich auf die Vorderseite der Platte einen Paraffinkranz goß, dessen innerer Durchmesser ca. 140 mm. betrug, während der äußere ca. 180 mm. groß war, sodaß der Kranz eine Breite von ungefähr 20 mm. hatte. Im Centrum dieses Kranzes befand sich die senkrecht gestellte Platinspitze des anderen Pols. Bei dieser Versuchsanordnung erhielt ich zunächst bei geringerer Spannung, 45 Volt, die normale Ausdehnung der Rose, bei Steigerung der Primärspannung auf ca. 70 Volt wurde die Ausdehnung der Rose bereits größer als der Durchmesser des Paraffinringes, und die Gleitfunken ver-

liefen jetzt sowohl normal in radialer Richtung, als auch ringförmig den Konturen des Paraffinringes folgend. Ich konnte diese Erscheinung sowohl am inneren als am äußeren Umfange des Paraffinringes beobachten.

Bei nur geringer weiterer Steigerung der Spannung erfolgte Durchschlagen der Glasplatte und die erste Durchschlagung fand stets am Rande des Ringes statt, und zwar ebenso leicht am inneren wie am äußeren Umfange.

Bei Fortsetzung des Experimentes sowohl mit gleicher als auch mit erhöhter Spannung erfolgten weitere Durchschlagungen der Platte, jedoch nicht mehr ausschließlich an den Konturen des Paraffinringes, sondern auch mitten durch denselben, also durch diesen und die Platte zugleich, während die blanke Glasfläche von allen Durchschlagungen verschont blieb.

Diesem Phänomen liegt wahrscheinlich die Ursache zu Grunde, daß die sonst auf freier Glasoberfläche verlaufenden Gleitentladungen ihren Weg durch den Paraffinring verlegt fanden. In den nach der ersten Entladung schon vorhandenen Funkenkanälen gehen dann die weiteren Entladungen in der Hauptsache vor sich und finden geringeren Widerstand, kommen also mit höherer Spannung am Paraffinringe an, wo sie dann eine Durchschlagung der Glasscheibe bewirken.

8. Um noch nachzuweisen, daß die Gleitentladung ausschließlich an der Oberfläche des Dielektrikums stattfindet, setzte ich über die Versuchsglasplatte eine genau gleiche, welche jedoch in der Mitte ein Loch von 2 mm. Durchmesser besaß. Durch dieses Loch hindurch setzte ich die Platinspitze des einen Poles senkrecht auf die Versuchsplatte und verband leitend die volle Belegung und den anderen Pol mit der Erde, sodaß ich wieder die Ausbildung der Rose erhielt.

Es war eine Änderung in dem ganzen Phänomen nicht wahrzunehmen, obgleich die Deckplatte ganz eng an der Versuchsplatte anlag. Die Gleitentladungen erfolgten ungehindert zwischen den Platten.

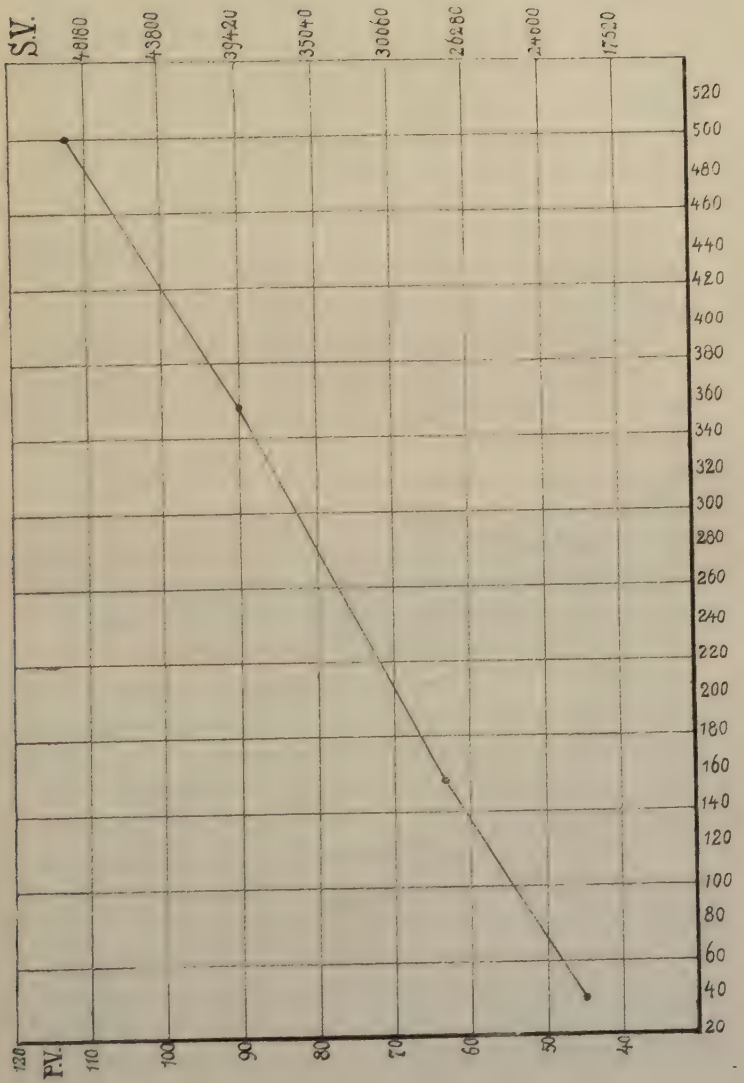
Weitere Versuche, welche die Ausdehnung der Entladung in ihrer Abhängigkeit von der sekundären Maximalspannung darthun sollten, stellte ich mit einer abgeänderten Versuchsanordnung an, indem ich die mit Stanniol belegte Glasplatte durch ein mit Quecksilber gefülltes Glasrohr ersetzte. Diese Quecksilberfüllung war mit dem einen Pol der Sekundärspule des Induktoriums verbunden, während der andere Pol in einem 10 mm breiten Metallringe endigte, welcher das Glasrohr in der Mitte eng umschloß.

Bei dieser Versuchsanordnung erhielt ich die in den Fig. 25.-29., Taf. VII, VIII, wiedergegebenen Gleitentladungen, welche sich nach den Abbildungen direkt miteinander vergleichen lassen. Werden diese Resultate zur Kurve vereinigt, so zeigt sich wieder, daß das Verhältnis der Gleitfunkenstrecke zur Spannung nahezu konstant ist, da man wohl berechtigt ist, die Unregelmässigkeiten der Kurve auf Meßfehler in der Längenausdehnung zurückzuführen.

Eine sich im Laufe der Versuche bemerkbarmachende, bleibende Ladung der Rohroberfläche veranlaßte mich, diese Erscheinung weiter zu verfolgen, und führte mich zu dem Ergebnis, daß man es bei meiner Versuchsanordnung mit der Übereinanderlagerung von zwei von einander unabhängigen Phänomenen zu thun hatte, und zwar einmal mit einer bleibenden, statischen Ladung der Sekundärspule des Induktoriums und zweitens mit der Ladung der äußeren Rohroberfläche durch die vorangegangene Gleitentladung.

Im Folgenden werde ich systematisch die Versuche

Figur 29.


SV.
48080
43800
39420
35040
30660
26280
24000
17520
520
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
PV.
120
110
100
90
80
70
60
50
40

beschreiben, welche diesbezüglich angestellt wurden, und bemerke gleich hier, daß mir für die auszuführenden Messungen zwei Elektrometer zur Verfügung standen. Erstens ein Braun'sches, welches von Herrn Professor Gockel mittels einer vielzelligen Accumulatorenbatterie geaicht war und mir von ihm in liebenswürdigster Weise überlassen wurde. Dieses Voltmeter hatte ein Meßbereich von 150—1700 Volt.

Zweitens ein Voltmeter nach Lord Kelvin; dieses hatte ein Meßbereich von 1200—16000 Volt und wurde von mir durch Vergleich mit einer bestimmten Edelmann'schen Luftfunkenstrecke kalibriert.

1. Es war die innere Quecksilberfüllung des Rohres mit dem einen, der äußere Metallring mit dem anderen Pole der Sekundärspule des Induktoriums verbunden, und es wurde, nachdem eine Gleitentladung stattgefunden hatte, die äußere Ladung des Glasrohres mittels eines zur Erde abgeleiteten Metallpinsels abgehoben. Die innere Belegung, welche noch fortwährend in Verbindung mit dem Induktorium blieb, wurde mit einem Elektrometer verbunden, um ihre angenommene Spannung zu messen.

Ich erhielt hierbei nur unkonstante, nicht miteinander vergleichbare Werte und änderte infolgedessen den Versuch so ab, daß ich sofort nach Unterbrechung der Gleitentladung die Sekundärspule des Induktoriums vom Rohre trennte.

Es ergab sich die eigentümliche Erscheinung, daß die Sekundärspule trotzdem geladen war. Um diese Ladung näher charaktirisieren zu können, stellte ich 2. die Versuche mit den verschiedensten Maximalspannungen an. und es zeigte sich hierbei, daß das Potential, bis auf welches sich die Sekundärspule lud, unabhängig war von der Maximalspannung, welche zur Erzeugung

der entsprechenden Gleitfunkenbildung verwendet wurde; es betrug im Mittel 900 Volt.

3. Eine weitere Variation des Versuches führte ich dadurch aus, daß ich die Größe der äußeren Elektrode, deren Breite bisher immer 10 mm. betrug, änderte.

Es zeigte sich sofort ein großer Einfluß auf die Spannungen, welche Rohr resp. Sekundärspule annahm, und zwar in dem Sinne, daß die Spannung sich steigerte, wenn die äußere Belegung verkleinert wurde und ihren höchsten Wert bei Anwendung einer Schlinge aus 0,5 mm. dickem Draht erhielt. Die Spannung nahm ab, wenn die äußere Belegung vergrößert wurde, und erhielt den Wert 0, wenn die Oberflächen der äußeren und inneren Belegung gleich waren.

Diese Erscheinung führte ich darauf zurück, daß die im Augenblick des Öffnens des Primärstromkreises im sekundären erzeugte Maximalspannung einen momentanen Elektrizitätsfluß nach den Endpolen der sekundären Spule (Quecksilberfüllung und äußere Ringbelegung) hervorruft, und daß nach Vollendung der Unterbrechung ein Teil der Elektrizitätsmenge der z. B. positiv geladenen inneren Belegung zur sekundären Spule zurückfließt, während ein anderer Teil gebunden wird durch diejenige negative Elektrizität, welche die Außenseite des Rohres bedeckt und von der vorangegangenen Glimmentladung herrührt, welche wiederum von der ebenfalls negativ geladenen äußeren Belegung ausging.

Da infolge der Größenunterschiede die Kapazität der äußeren Ringbelegung sehr viel kleiner ist, als die der Quecksilberfüllung, so wird von ihr auch nur eine verhältnismäßig kleinere Elektrizitätsmenge nach der Öffnung des primären Stromkreises zur Sekundärspule zurückfließen.

Diese nach unserer Voraussetzung negative Elek-

trizitätsmenge gleicht sich mit einer gleichen Menge positiver von der inneren Belegung herstammender Elektrizität aus. und es bleibt von dieser, da sie in grösserer Menge vorhanden war, noch ein Teil frei, welcher die Spule positiv geladen erscheinen läßt, sobald dieselbe vom Rohre gelöst wird.

Diese Auffassung giebt auch gleichzeitig eine Erklärung dafür, daß die Ladung der sekundären Spule stets auf dasselbe Potential von ca. 900 Volt erfolgte.

Den Ausgang jedoch für alle diese Versuche bildete die Absicht, die Ladung festzustellen, welche die Glasrohroberfläche durch die Gleitentladung erhielt; um dieses zu erreichen, leitete ich zunächst, nachdem die sekundäre Spule mittels einer Wippe vom Glasrohr an beiden Polen getrennt war, die Quecksilberfüllung zur Erde ab und entfernte dadurch die positive Ladung derselben bis auf denjenigen Teil, welcher durch die auf der Glasoberfläche befindliche negative Elektrizität gebunden wurde.

Es müßte jetzt also die positive innere Ladung, gleich sein der negativen äußeren. Die äußere Ringbelegung war durch die Wippe zur Erde abgeleitet.

Nunmehr legte ich die innere Belegung an das Elektrometer und erhielt einen Ausschlag, sobald ich die ihr eigene positive Elektrizität dadurch frei machte, daß ich mittels des Metallpinsels die Ladung der äußeren Glasrohroberfläche abhob und zur Erde leitete.

Die Abnahme der Elektrizität auf der Rohroberfläche erfolgte stets auf eine gleiche Entfernung nach beiden Seiten von der äußeren Belegung aus, und ich erhielt die in folgender Tabelle 9 angeführten Resultate,

Tabelle 9.

43	59	72	86	100	V. prim.
5611	8910	11385	13200	13365	V. Rohr.

welche die Mittelwerte verschiedener Versuche angiebt.

Man sieht, daß die auf der Glasoberfläche resultierenden Spannungen mit der Primärspannung steigt und sich bis 13000 Volt ziemlich konstant verhält, wie die in nachstehender Figur gegebene Curve zeigt.

Ich wiederholte dasselbe Experiment mit einer hinterlegten Glasplatte und erhielt nachstehendes Resultat.

Tabelle 10.

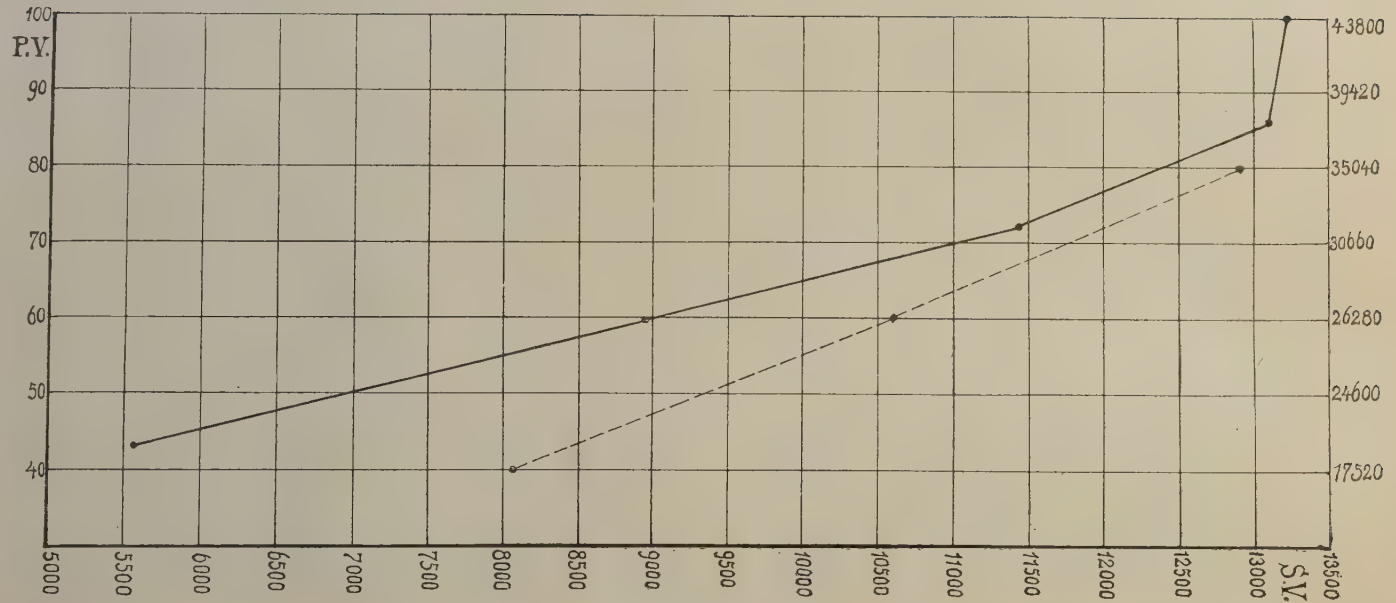
40	60	80	V. prim.
8250	10725	12870	V. Platte.

Die Curve, welche dieses Resultat angiebt, ist in Figur 30 punktiert eingetragen und zeigt gleichfalls nahezu Konstanz.

Am Schluß dieser Untersuchungen stellte ich zur Vervollständigung derselben noch einige Versuche darüber an, bei welcher Primärspannung resp. sekundären Maximalspannung die erste Funkenentladung erfolge.

Die Versuche wurden so ausgeführt, daß die Platinspitzen in einer bestimmten Entfernung auf das Dielektrikum gesetzt wurden und dann mittels eines Rheostaten die Spannung so lange gesteigert wurde, bis der erste Entladungsfunken überging; hierbei kam ich zu folgenden Resultaten.

Figur 30.


P.V.
100
90
80
70
60
50
40
43800
39420
35040
30660
26280
24600
17520
5000
5500
6000
6500
7000
7500
8000
8500
9000
9500
10000
10500
11000
11500
12000
12500
13000
13500
S.V.

Bei den in folgender Tabelle unter angeführten Versuchen auf dem Glasrohre waren die Platinspitzen durch ringförmige Elektroden ersetzt.

Tabelle 11.

Material.	Spitzen-Entfernung	Entladungspotential prim.	Entladungspotential sec.
a. Vollhinterlegte Glasplatte.	150	68	29784
	200	85	37230
	250	95	41610
b. Glasplatte mit 5 mm. breitem Stanniolstreifen hinterlegt.	150	72	31536
	200	75	32850
	250	95	41610
c. Glasplatte mit rechtwinklig gekrümmtem Stanniolstreifen von 5 mm. Breite. L. der belegten Katheten 75^{mm} L. der offnen Hypothenuse.....	115	73	31974
d. Olivenöl-Oberfläche ohne leitende Hinterlegung.	150	83	36354
e. Glasrohr mit Quecksilberfüllung.	150	59	25842
	200	66	28908
	400	105	45990

Auch diese Zahlen bestätigen das schon vorher erhaltene Resultat, daß die Ausbildung der Entladung auf der Oberfläche eines Dielektrikums nur in geringem Maße von der Natur desselben beeinflußt wird. Andererseits geht aus den in dieser Arbeit mitgeteilten Versuchen hervor, daß sich die Oberflächenentladung bei verhältnismäßig dünnen dielektrischen Schichten leichter vollzieht, wenn dieselben auf der Rückseite mit einer metallischen Belegung versehen ist.

Diese Thatsache erklärt, daß bei der Benutzung guter dielektrischer Substanzen für Plattenkondensatoren die seitlichen Entladungen so außerordentlich störend wirken, daß hingegen diese seitlichen Entladungen verhindert werden können, wenn die metallische Belegung gut von einem Dielektrikum umgeben ist, wie aus den pag. 47 beschriebenen Versuchen hervorgeht.

Es käme in diesem Falle darauf an, dem Dielektrikum eine den auftretenden Spannungen entsprechende Stärke zu geben, um Durchschlagungen zu vermeiden. Die ganze Reihe von Verlusten, welche an technischen Kondensatoren beobachtet wurden, und welche auf die Seitenentladungen zurückzuführen sein werden, sind, wie von verschiedenen Forschern festgestellt wurde [1]), den nach dem Joule'schen Gesetz zu erwartenden entsprechend.

Bei dem Bau von Kondensatoren, Maschinen und sonstigen Apparaten findet vielfach Papier als Dielektrikum oder Isolationsmaterial Verwendung, und ich unternahm es daher, noch einige Papiersorten auf diejenige Festigkeit zu untersuchen, welche sie in imprägniertem Zustande dem Durchgeschlagenwerden durch hochgespannte Ströme entgegensetzen.

Zur Prüfung wurden die Papiere so präpariert, daß die einzelnen Bogen in einem Trockenschranke scharf getrocknet, dann noch warm in heißes Paraffin gelegt und eine Zeit lang darin gelassen wurden. Nachdem eine vollständige Tränkung der Bogen stattgefunden hatte, wurden dieselben zum Erkalten aufgehängt. Nach dem Erstarren wurden die Bogen einseitig mit Stanniol belegt, welches mit einer Gummirolle fest aufgepreßt wurde, um Luftblasen auszuschließen.

---

[1]) Handbuch der Physik. Winkelmann, II. Aufl. IV, p. 160.

Es gelangten zur Untersuchung drei Arten von Papieren.

A. Drei Qualitäten Schreibpapier :

1. Schreibpapier « Rives »
2. » « Castle »
3. » « einfach ».

B. Vier Arten Fließpapier :

4. ganz glattes, weißes Fließpapier,
5. ziemlich glattes, weißes »
6. rauhes, weißes »
7. ganz rauhes, wolliges, braunes Fließp.

C. 8. eine Art gelbes Packpapier, einseitig geleimt (Gelbbank).

In nachstehender Tabelle 12 gebe ich die näheren Daten für die Qualitäten dieser Papiere. Der senkrechte Pfeil giebt die Festigkeit der Papiere in der Maschinenrichtung, d. h. derjenigen Richtung, in welcher das Papier durch die Maschine gegangen ist, der wagerechte Pfeil bezeichnet die Festigkeit des Papiers senkrecht zur Maschinenrichtung.

Der Holzgehalt wurde mittels der Phloroglucin-Reaktion festgestellt, wozu die von Wilhem Herzberg [1]) veröffentlichte Farbenskala diente.

Die Dicke des nicht paraffinierten Papiers (in der Tabelle D) wurde mittels des Zeiss'schen Dickenmessers festgestellt, und enthält die Tabelle das Mittel von je 10 Messungen desselben Papiers ; ebenso sind auch alle anderen Angaben der Tabelle Mittelwerte von mindestens 10 Bestimmungen.

[1]) Wilhelm Herzberg. Papierprüfung, zweite Auflage, Tafel XVI.

Der Aschengehalt wurde in üblicher Weise durch Glühen eines vorher genau bestimmten wasserfreien Stückes des Papieres im Platintiegel ermittelt. Auch das Gewicht für 100 Quadratcentimeter bezieht sich auf getrocknetes Papier.

Unter D sind in der Tabelle die Mittelwerte der Dicke des paraffinierten Papiers angegeben. Diese Messungen wurden nach jeder Durchschlagung in unmittelbarer Nähe der durchschlagenen Stelle in 4 verschiedenen Richtungen ausgeführt, so daß für jede Papiersorte sich d aus 120 Messungen im Mittel ergiebt, da je 30 Versuche angestellt wurden. Das Mittel dieser Durchschlagungen ist unter l angegeben und bedeutet in mm. die Länge der Luftfunkenstrecke am Edelmann'schen Mikrometer, bei welcher die Durchschlagung des Papiers erfolgte.

Unter V ist das dieser Luftfunkenstrecke entsprechende Potential, welches einer Arbeit von Orgler[1]) entnommen wurde, angegeben.

Die zur Erzielung des Durchschlagens notwendige hochgespannte Elektrizität wurde einer vierplattigen Voss'schen Influenzmaschine mit einem Scheibendurchmesser von 80 cm. entnommen. Die Maschine wurde durch einen Elektromotor betrieben, so daß die Umdrehungszahl stets konstant gehalten werden konnte.

Zu dieser Maschine war eine große Kapazität, Leydener Flaschen, parallel geschaltet, ebenso wie die Versuchsfunkenstrecke und die Luftfunkenstrecke.

Die Versuchsfunkenstrecke bestand aus einer isoliert aufgestellten Metallplate als dem einen Pol, auf welche das zu prüfende Papier mit der mit Stanniol belegten Seite gebracht wurde. Der andere Pol endigte

---

[1]) Wiedemann's Ann. 1900. 70. p. 159.

Tabelle 12.

	Schreibpapiere			Fliesspapiere				Gelbbank
Papier N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Festigkeit i. kg. ↓	49.41	47.63	64.31	31.20	13.64	5.161	1.946	70.42
Festigkeit i. kg. ↔	38.61	26.57	32.64	19.08	11.89	3.924	0.962	30.72
Gewicht i. g. p. 100 □ cm	0.803	0.638	0.926	1.46	0.926	0.580	0.892	1.310
Holzgehalt i. %	0	0	0	0.5	0	0	0	2
Aschengehalt i. %	1.4	1.5	10.6	7	0.5	0.7	0.66	1.66
D. in mm.	0.076	0.076	0.081	0.125	0.148	0.186	0.395	0.165
d in mm.	0.161	0.152	0.161	0.242	0.259	0.202	0.299	0.227
l in mm.	6.975	5.274	5.783	4.718	3.663	4.075	7.123	5.713
V.	31000	23400	25740	20960	16240	18100	21600	25380
l/g	43.323	34.697	35.919	19.496	14.143	20.173	23.823	25.167

in einer Stahlkugel von 9,2 mm. Durchmesser, welche für Kontrollversuche, bei denen ein Unterschied sich nicht ergab, durch eine Stahlkugel von 14,2 mm. ersetzt werden konnte.

Um die Gleitfunkenentladung zu verhindern, wurde auf das Papier bei jedem Versuch ein kleiner Glaszylinder von 30 mm. Höhe und 25 mm. innerem Durchmesser gesetzt.

Nachdem die Stahlkugel in der Mitte des Zylinders auf das Papier gestellt war, wurde dieser mit Öl gefüllt, wodurch eine vollständige Beseitigung jedweder Glimmentladung erzielt wurde, ohne daß Öl oder Luft zwischen Polkugel und Papier treten konnten.

Almy [1]) teilt in seiner Arbeit ähnliche Versuche mit, welche sich jedoch auf anderes Material als Dielektrikum beziehen und daher hier nicht vergleichbar sind.

Aus der weiter oben angeführten Tabelle 12 geht zwar hervor, daß die erhaltenen Resultate eine bestimmte Regelmäßigkeit nicht aufweisen; immerhin ist soviel ersichtlich, daß die Festigkeit gegen elektrische Durchschlagungen nicht allein von der Imprägnierung abhängig ist, sondern, daß dabei auch die übrigen mechanischen Eigenschaften des Papieres eine Rolle spielen.

Die Schreibpapiere weisen den größten Widerstand auf, und von ihnen ist wieder das Papier Nr. 1 das weitaus geeignetste und gleichzeitig auch das mechanisch beste. Die Zugfetsigkeiten in beiden Richtungen weisen nicht die erheblichen Differenzen der anderen Papiere auf, und dieses läßt auf eine größere Homogenität schließen.

Von den Fließpapieren ist eigentlich nur das glatte Papier Nr. 4 vergleichbar, sowohl bezüglich der Dicke in

---

[1]) Wiedemann's Ann. 1900, 70, p. 159.

unprägniertem, als auch besonders in inprägniertem Zustande.

Die Resultate der Messungen lassen die Papiere jedenfalls dicker erscheinen als sie in Wirklichkeit sind, da die losen Fasern die Genauigkeit der Messung in erheblichen Maße beeinträgtigen. Auch der Versuch die Dicke des Papiers zwischen zusammen gepreßten planparallelen Glasplatten zu ermitteln, führte nicht zu dem gewünschten Resultat.

Nach der Imprägnierung zeigten diese Papiere zwar eine glattere Oberfläche; Papier 7 war infolge der niedergelegten Fasern sogar dünner geworden, jedoch war diese Glätte nur dem anhaftenden Paraffin zuzuschreiben

In der Tabelle 12 habe ich unter $\frac{l}{d}$ das Verhältnis angegeben von Luftfunkenstrecke zur Dicke des paraffinierten Papiers, da dieses ja stets in diesem Zustande untersucht wurde.

Ein Blick auf diese Zahlen bestätigt die vorhin schon ausgesprochene Ansicht, daß bei Auswahl von Papieren für elektrotechnische Zwecke nicht nur seine Aufsaugungsfähigkeit des Imprägnierungs-Mittels, sondern auch seine sonstigen mechanischen Eigenschaften in Betracht gezogen werden sollten.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, Herrn Professor von Kowalski für das im Laufe dieser Untersuchungen mir gezeigte vielfache Interesse meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Verfasser vorliegender Arbeit ist am 21. Juli 1866 zu Danzig geboren. Seine Schulbildung verdankt er dem Realgymnasium zu Elbing. Auf den Universitäten Heidelberg und Freiburg i/Br., woselbst er sich mit mathematischen, physikalischen und chemischen Studien beschäftigte, hörte er die Vorlesungen der Herren :

Quinke, Königsberger, Victor Meyer (†), Warburg, Stickelberger, G. Meyer, Claus (†), Zehnder, Willgerodt.

In Freiburg i/Br. hat er auch eine physikalische Arbeit unter dem Titel « Zur Kenntnis der Polarisationskapazität des Quecksilbers » in Wied. Ann. 55. p. 338. 1895 veröffentlicht.

Nach Verlassen der Universität Freiburg i/Br. war Verfasser mehrere Jahre als Ingenieur thätig, um dann an der Universität Freiburg i. d. Schweiz die Vorlesungen der Herren :

v. Kowalski, v. Girard, Daniels zu hören und im Laboratorium des Herrn Professor Bistrzycki chemische Arbeiten auszuführen.

Allen seinen Lehrern ist Verfasser zu verbindlichstem Danke verpflichtet.